科技强国植根于深厚的基础研究*



张先恩

中国科学院生物物理研究所 北京 100101

生物大分子国家重点实验室 北京 100101

中国科学院生物大分子科教卓越创新中心 北京 100101

摘要 文章围绕建设科技强国的宏伟目标，分析了科学发展、科技革命、工业文明与科技强国之间的内在联系，并探讨基础研究和科学文化对大众创新的影响。同时，基于文献计量学数据对中国的基础研究发展整体阶段进行宏观判断，然后结合当前科技形势和存在的问题提出繁荣基础研究的若干建议。

关键词 科技强国，基础研究，科技革命，产业革命，工业革命

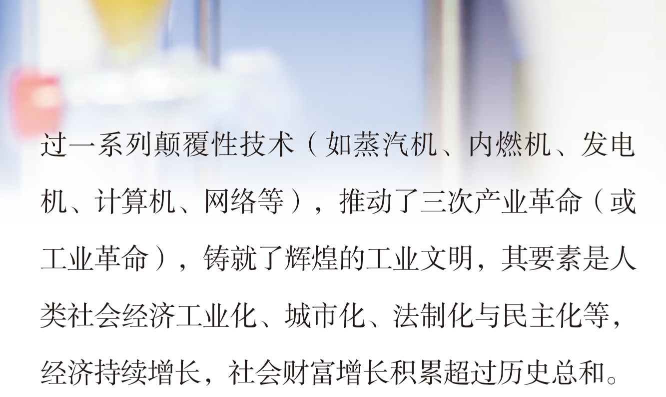
DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2017.05.008

《国家创新驱动发展战略纲要》明确提出，经过“三步走”，新中国成立100年之际要成为世界科技强国[1]。现在距这个伟大的目标完成时限还有30多年，中国科技事业的设计者和践行者都在为之奋斗。浏览一下世界科技强国，虽然都有不同的特点，但呈现一个共同的特征，即科技强国的形成和巩固离不开厚实的基础研究。这或许可以成为我们的借鉴。

1 科技革命、工业文明与强国更替

人类历史长河，经历了农耕经济、工业经济并正迈入信息经济。农耕经济时代漫长，社会财富积累增长缓慢。近400年，发生了若干次科学革命和技术革命，通

*修改稿收到日期：2017年4月23日



过一系列颠覆性技术（如蒸汽机、内燃机、发电机、计算机、网络等），推动了三次产业革命（或工业革命），铸就了辉煌的工业文明，其要素是人类社会经济工业化、城市化、法制化与民主化等，经济持续增长，社会财富增长积累超过历史总和。

工业革命的发生发展伴随着强国更替，而历史上欧洲列强具有扩张特质。英国作为蒸汽机和纺织机的发源地，最先完成工业革命，生产力极大提升，得以强军强国，控制了当时世界1/4的陆地疆域和人口，一度为“日不落”帝国。同期，欧洲主要国家相继完成工业革命，经济总量迅速超过亚洲，成为世界第一。其中德国借力于两次工业革命，统一国家，于19世纪末成为欧洲新的霸主，其后发动了两次世界大战。美国得天独厚地享受了欧洲科技革命成果，完成工业化，20世纪中发展成为世界上经济实力最为雄厚的国家。20世纪后半叶，信息技术等高技术在美国发生群体突破，带动第三次产业革命，进一步拉开了与其他国家的距离[2]。奥巴马执政期间，签署了《美国竞争法案》（*America COMPETES Act*）①，其中承诺将基础研究经费10年翻番，以确保美国在所有科技领域的领先，巩固其超级科技强国地位。

2013年，制造强国德国政府颁布了“工业4.0”战略行动②，奏响了第四次产业革命的序曲，它可以认为是信息技术革命的深化和提升，其特征是工业过程的信息化、网络化、智能化、绿色化，并建立一个高度灵活的个性化和数字化的产品与服务的生产模式。这种模式将极大地淡化传统的行业界限，产业链分工将被重塑，创造新价值的效率将获得极大提升，同时带来资源环境效益，人类社会或许将进入新的工业文明阶段。2015年，中国政府也出台了《中国制造2025》，目标是2020年基本实现工业化，制造业信息化水平大幅提升，2025年工业化和信息化融合上新台阶[3]。2015年，国家还启动了“互联网+”行动，部署了“互联网+协同制造”“互联网+人工智能”等11项重点行动[4]。在这新一轮的技术变革和产业革命中，执牛耳者，将执天下。

2 科技革命源于基础研究的百花齐放

文艺复兴促进了人的思想解放，繁荣了艺术、文化和科学。

16世纪起，欧洲出现了各类科学组织和学术流派，他们继承了古希腊学者的逻辑思辨科学方法，并逐步发展出实验性科学方法，利用两种科学方法的结合，对大自然规律进行了卓有成效

① *America COMPETES Reauthorization Act of 2010*（P.L. 111-358），奥巴马2011年1月4日签署

② 百度百科：工业4.0（第四次工业革命）. http://baike.baidu.com/link?url=pAmD-sotDojArwZuRRzHFQNIK6zftAip9II5aviD mvG5pNq6iPem6R8zPjjnZkph4x2FrkIDwIYqBtaf8jumMLYTvQ9_MICYYrrwU9E0XNq

的探索，获得大量新的发现，形成了不同学术流派，呈现自然科学百花齐放的局面。欧洲主要国家纷纷成立科学院，如：英国皇家学会（1660 年成立）、法兰西科学院（1666 年成立）、德国科学院（1652 年成立）、西班牙皇家学院（1713 年成立）、俄罗斯科学院（1724年成立）、瑞典皇家科学院（1739 年成立）、丹麦皇家科学院（1742 年成立）、捷克皇家科学院（1784年成立）等。这些科学组织在促进科学研究和知识普及方面发挥了重要的作用。200 年间，由伽利略和牛顿开创的、大批学者共同参与构建的经典物理学体系逐渐完善，其框架包括经典力学、热力学和统计物理学、经典电磁场理论。经典物理学体系精美的结构和深刻的物理学内涵，对人类科学技术发展产生了深远的影响。其中，牛顿在 1687 年发表的论文《自然定律》，对万有引力和三大运动定律进行了描述，奠定了物理学和工程学的基础。

欧洲人对基础研究的百花齐放推崇备至，这源于基础研究具有不可预测性。科学精神和知识传播，使欧洲的科学研究和创新不限于经院式的研究模式。个人兴趣驱动的研究比比皆是。典型的如：神职人员孟德尔在业余时间种植豌豆，发现了遗传学第一定律和第二定律，成为经典遗传学之父；爱因斯坦 1905 年发表包括狭义相对论和光量子理论等划时代论文时，还在伯尔尼专利局当雇员。瓦特对蒸汽机的知识，主要是在大学车间当修理工时励志学习的，帮助他的物理学家与化学家布莱克教授，不会料到他后来成为推动工业革命的历史人物。

在英国，除了牛顿以外，还涌现出了一大批历史性学者，如法拉第（磁感应现象发现者、电动机发明人）、道尔顿（近代原子理论的提出者）、罗伯特·虎克（显微镜的发明者及微生物之父）、焦耳（独立提出能量守恒及热力学第一定律）、达尔文（进化论的提出者）、麦克斯韦（经典电动力学的创始人，统计物理学的奠基人之一）等。英国经历了科学精神的洗礼，科学发现、创造与创新的影响根深蒂固，并通过议会批准建立了传承至今的传统专利体系，保护大众创新和发明，因此，英国成为两次科技革命的摇篮，也就不奇怪了。

文艺复兴以来的科学实践，正如英国哲学家弗朗西斯·培根所言：科学真正的目标在于“人类生活被赋予新的发现和力量”。

3 中国基础研究厚积薄发，正经历量变到质变

与中科院“两弹一星”纪念馆比邻的“早期学科历史展”展馆坐落在中国科学院大学怀柔校区山坡上，是一个不起眼的平房。展览回顾了中国百年来的自然科学各领域的先驱人物，他们的名字和事业令人心生崇敬。然而，由于现代自然科学体系基本上源于西方哲学和科学，我们不得不承受近几百年的落后。新中国通过《1956—1967 年科学技术发展远景规划纲要》（简称《十二年规划》），对基础研究进行了全面布局，但后来严重受挫于政治动乱。经过拨乱以后，中国实施了改革开放基本国策，并强调“科学技术是第一生产力”。近 40 年来，中国的科技获得长足发展，主要科学研究指标反映出这种巨大变化。

科学论文是基础研究成果展示、知识记载和传播的主要形式。国际上有一些著名的科学文献数据库，如科睿唯安（Clarivate Analytics）

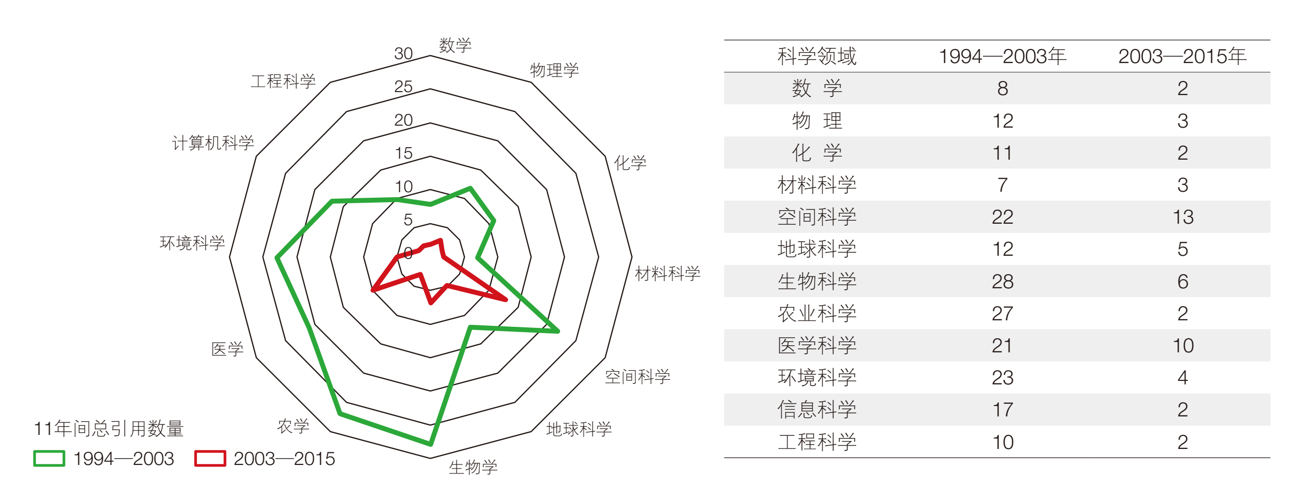
的 WoS 数据库、InCite 和 ESI 数据产品（均原为汤森路透所拥有），以及爱思唯尔出版集团（Elsevier）的 Scopus 数据库等。这些数据库开发了很好的平台，可用于文献检索、学科发展分类分析、科学前沿热点分析、各国/经济体、各机构的科学文献贡献定量分析、影响力分析等。自然出版集团（NPG）还设立了“自然指数”（Nature Index，NI），通过分析 68 种各学科的经典刊物，统计各国（经济体）、高校和科研院所在国际上最具影响力的科学期刊上发表论文数量的情况。

通过文献计量学分析，宏观上看，我国基础研究发展可以概括为起步跟踪阶段、数量扩张阶段和质量提升阶段。

（1）起步跟踪阶段。20 世纪 80 年代，中国的科学研究基本上属于跟踪型，启动的国家“863”计划定位在“跟踪研究外国战略性高技术”，中国学者们在国际上发表论文极少。

（2）数量扩张阶段。20 世纪 90 年代中期，中国学者被鼓励在国际学术期刊发表论文，这促进了创新性研究。2000 年以后中国学者论文数量增长加速，大约在 2009 年前后相继超过法、日、德、英等科技强国，成为国际科学论文数量第二大贡献国，这还不包括国内近 5 000 种科技期刊的文献量。

（3）质量提升阶段。同行引用次数反映论文受关注程度，通常表示为 10 年引用次数。中国学者论文总引用数持续增长，原来预计 2020 年达到世界第 5 位，可 2013 年就达到第 4 位，2016 年成为世界第 3，仅次于美国和英国。若将各个学科总引用数进行国际横向比较，许多学科已经进入前 2—5 名（图 1），显示巨大进步。虽然中国学者论文的篇均引用仍然很低，但高影响论文（Top papers）数量或许更能反映中国的科学影响潜力。高影响论文包括热点论文（Hot papers）和高被引论文（Highly cited papers）。至 2017 年 4 月，拥有万篇以上高影响论文的国家依次为：美国 67 156 篇，英国 23 413 篇，中国 19 085 篇，德国 16 438 篇，法国 10 861 篇和加拿大 10 672 篇（表 1）。此外，自然指数结果显示，2016 年中国在各学科经典期刊上发表成果的频度



科学领域	1994—2003年	2003—2015年
数 学	8	2
物 理	12	3
化 学	11	2
材料科学	7	3
空间科学	22	13
地球科学	12	5
生物科学	28	6
农业科学	27	2
医学科学	21	10
环境科学	23	4
信息科学	17	2
工程科学	10	2

图 1 中国自然科学各领域论文总被引用次数国际排位变化

原始数据来自 Essential Science Indicators™，原 Thomson-Reuters。其中，生物学、农学和医学数据来自生命科学各个学科的分类，该分类是相对的，其中有大量交叉。例如，微生物学在生物学、农学和医学中都有，暂时与植物学和动物学一并归于生物学计算

仅次于美国，居第2位③。这些数据清楚表明，中国基础研究水平已经大幅提升，在国际上占有前所未有的位置。中国已经拥有世界上规模最为宏大的R&D队伍，2014年R&D人员已达371万，预计2020年达480万[5]，其中基础研究人员目前为7%，虽然整体素质仍需不断提高，但其中已经有了相当数量的一流科学家，他们构成中国基础研究的精锐群体，在国际同行中受到高度关注，已不断有学者开始问鼎国际科学大奖。

然而，中国基础研究所取得的进步，是在低水平上起步的，依然还处在积累阶段，重大原始性创新的成果还很少，开创新方向、引领学科发展的能力尚很弱，教科书中仍然主要在讲述西方学者的故事。因此，还要遵循科学发展规律，不骄不躁，潜心积累，厚积薄发，赢在未来。

4 基础研究内涵与使命

《弗拉斯卡蒂手册》将基础研究定义为：基础研究是为了获得关于现象和可观察事实的基本原理的新知识而进行的实验性或理论性研究，它不以任何专门或特定的应用或使用为目的[6]。其实，基础研究包括纯基础研究和应用基础研究，后者与基础研究的定义相矛盾。在国家重点基础研究“973”计划和国家自然科学基金支持的研究中，除少数纯基础研究以外，都有直接或间接的应用导向。中国近年实施的科技计划管理改革，强调全链条设计，其中基础研究更是被打上了“应用目的”的烙印。

基础研究与前沿技术的界限其实非常模糊。前沿技术是近10多年出现的概念。按照定义，前沿

表1　发表高影响论文数的前10名国家/经济体

国别	高影响论文数*		
	总数	高被引论文数	热点论文数
美国	67156	66952	1418
英国	23413	23339	667
中国	19085	18955	684
德国	16438	16285	419
法国	10861	10831	293
加拿大	10672	10629	320
澳大利亚	8813	8768	287
意大利	8527	8475	278
荷兰	8237	8207	239
西班牙	7145	7116	202

原始数据来自InCite™，原Thomson-Reoters（2017年4月）

* 高影响论文包括高被引论文（Highly cited papers）和热点论文（Hot papers）；高被引论文指10年间被引用次数排名前1%的论文，热点论文指2个月被引用次数排名前1‰的论文，其中高被引论文中含有部分热点论文；由于高被引论文和热点论文有重叠，所以总数不是两者的简单加和

③ Nature Index. http://www.natureasia.com/zh-cn/nature-index/

技术是高技术领域中具有前瞻性、先导性和探索性的重大技术[④]。这三性，也符合基础研究特征。在国内开展的前沿技术研究当中，许多在国外已经商业化，这样的技术，就只能称为跟踪技术，至多是“me better（我更好）”。真正的前沿技术或属基础研究范畴，如药物靶标的发现、新型疫苗研究、分子网络育种、干细胞与再生医学、癌症的免疫治疗、合成生物学、基因编辑、量子通讯、量子计算、智能感知、类脑与人工智能、三维虚拟现实、高温超导、智能材料、极端环境制造、第四代核能、聚变能、氢能、环境生物整治、空间技术瓶颈等。信息技术是典型的应用性技术，也是基于科学的技术。当年的计算机、晶体管和场效应晶体管、集成电路、无线电通讯、光纤、网络技术等的发明，大都获得诺贝尔奖或图灵奖。开拓中的量子信息技术本身已经贴上多项量子物理学诺贝尔奖标签。

可见，新的时期，基础研究要跳出传统定义的约束，其使命应该包括：（1）坚持纯科学研究，探索自然奥秘，促进科技自身发展；（2）针对国计民生中的重大科学问题，开展基础性研究，提供新技术和解决方案。由此，真正实现“双轮驱动”。

5 改进管理工作，为基础研究注入新的活力

持续繁荣中国的基础研究，头绪万千。笔者结合在管理机构和科研一线工作的体会，提出几个管理层面需要关注的问题。

（1）强化基础研究投入。自从国家颁布了《国家中长期科技发展规划纲要》（简称《规划纲要》）以后，中国科技投入持续以两位数增长，数年间成为全球第二大科技投入国，极大推动了科技整体发展。然而，其中用于基础研究支出的比重一直徘徊在5%左右，远远低于世界经合组织（OECD）的平均水平（大约15%）。多年来，这已经成为科技界的一个热点问题，但存在不同看法。一种意见认为，基础研究投入比例过低显然不利于原始性创新；另一种意见则质疑科技统计渠道的合理性。我们对基础研究的内涵和投入模式进行了国际比较，结论是，中国的基础研究投入占R&D的比例确实过低，主要原因是企业R&D支出占国内总R&D支出的比重大（约75%），且主要用于产品开发。若要大幅提升基础研究投入比例，企业的R&D支出结构需作重大调整，这在现阶段几乎不可能。这归因于中国仍然处于工业化进程阶段，发展经济是优先选项（另文发表）。当前，中国已经确定了创新驱动发展战略，企业创新原动力尤其重要。我们从华为等企业的发展实践中，看到了这种希望。企业完成原始积累之后，开展与行业发展相关的基础研究，对提升企业竞争力有现实意义。政府一方面还要继续推进落实与企业发展有关的创新驱动政策，另一方面要尽可能强化对基础研究的财政支持。中国2025年成为制造强国，一定离不开基础研究的积累和创造性的贡献。

（2）调整科技资助模式。20世纪80年代科技体制改革，将科研机构的拨款制改为竞争性制度。引入竞争机制，对打破“铁饭碗”，用好有限的科技资源，提高科学研究水平发挥了重要作用。经过数十年发展，中国构建了含五个分体系、逻辑分工互联的宏大创新体系。但在国家财政经费支持方面，

④ 百度百科. 前沿技术. http://baike.baidu.com/link?url=9-fZnhbjUiJWTd0nYNGvqsF7WP_JP4NYHqRlZEK0i0TYUTQMuz8fQY6d6ZKwsGqnAZoLhpVX_BSWd7HhaCKSfttlhb4ExseD7YtquDtKjyCa2g8SMEhoSbtbpmdY2QGg

仍然延续竞争性为主的支持模式。现实状况是，高校的体量越来越大，人才众多，社会资源广泛，竞争优势越来越明显，而国家科研院所的竞争力则不断弱化，高端人才流出严重。还有一个现象：由于预算资源不足，国家科研院所人员不得不在外自行寻找合作伙伴，反过来与院内机构人员相互竞争，这大大削弱了国家科研院所的内部协调能力。再有，已经获得财政高额稳定支持的团队和基地、机构，均还能去申请竞争性经费。宏观来看，这是一种无序竞争。中国目前R&D人均研究经费为37万元人民币，计划2020年达到50万元人民币[5]，仍只相当于几万美元，远低于发达国家水平。合理配置有限的资源，对提高经费使用效率、防止滋生不良风气十分重要。建议采用国际上成熟的经验，对不同的创新单元采用不同的支持模式。例如，高校人才众多、研究生生源丰富、创新活跃，适合自由探索研究，主要通过竞争性渠道和国家重点实验室机制来支持。而国家科研机构定位于战略性和长期性定向基础研究，适合预算性支持，且不宜再申请竞争性经费（应用性研究机构除外）。机构和基地是“铁打的营盘”，人员可以流动，并接受外部评估。合理的分类支持模式，有利于充分发挥创新体系各创新单元的效能，并实质性地促进合作。

（3）营造良好的科研文化氛围。科研文化没有现成的定义。中科院的院训“唯实、求真、协力、创新”一定程度上代表了其科研文化，并被中科院广大科技工作者主动践行。科研文化其实具有全球属性，是每一位科学研究从业者所必须具备的品质和行为准则。当前有几个现象值得高度关注：一是学术不端屡有发生，不断触及道德底线，侵蚀着科学精神。有一种观点认为，论文造假与不合理的评价有关。的确，分类评价需要切实落实，但在同样条件下，绝大多数人还是讲原则的，这是道德的力量。因此，治理学术不端，需要各级管理层和科技界共同努力。二是人才计划有“帽子”化趋势。各类人才计划在不同的历史时期发挥了积极作用。但现在人才计划过多，不仅增加了管理成本，许多头衔还演变成“帽子”，分层次地与个人待遇和科技资源配置挂钩，高尚的精神激励和荣誉激励若变成低级的功利导向，负面效应将不可忽视，这已受到科技界普遍关切。应该看到，中国已经拥有全球最年轻的科研队伍，而且科研产出指标令人瞩目，在这种情况下，营造一个和谐公平、人尽其才、潜心科研的环境氛围，是广大科研人员最为需要的。因此建议人才计划瘦身。良好的科研文化滋养创新的种子，需要精心营造与呵护。

6 结语

科学知识是人类共同财富，但中国是一个大国，且有特殊的国情，不仅要为人类作更多的科学贡献，还需要有大量的技术创新和重大发明创造，而这些均寓于深厚的基础研究积累。中国科技水平已经今非昔比，通过进一步调整体制机制，营造宽松环境，全面夯实基础研究，新中国百年之时建成科技强国，不是梦！

参考文献

1 中共中央，国务院. 国家创新驱动发展战略纲要. 北京：人民出版社, 2016.

2 张先恩，主编. 科技创新与强国之路. 北京：化学工业出版社, 2010.

3 国务院. 中国制造2025. [2015-05-19]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-05/19/content_9784.htm.

4 国务院. 国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见. [2015-07-04]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2015-07/04/content_10002.htm.

5 科学技术部. “十三五”国家科技人才发展规划. [2017-04-13]. http://www.most.gov.cn/mostinfo/xinxifenlei/fgzc/gfxwj/gfxwj2017/201704/t20170418_132423.htm.

6 经济合作与发展组织, 编著. 弗拉斯卡蒂手册. 张玉勤, 译. 北京: 科学技术文献出版社, 2010.

Scientific and Technological Power Must Be Rooted in Fertile Soil of Basic Research

Zhang Xian-En

(Institute of Biophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

National Laboratory of Biomacromolecules, Beijing 100101, China;

Center for Excellence in Biomacromolecules, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract This paper discusses the role of basic research in building a scientific and technological power. Inner links between science development, technology revolution, civilization and powers, and the influence of science and civilization on mass innovation are elaborated. Overall behavior and contributions of the Chinese scientists in recent decades are evaluated by measuring the research output based on bibliometric analysis. The conclusion is that China has achieved remarkable progress in science, and is marching on the way towards the new power. Finally, policy measures are suggested to compensate for a few of weaknesses that might be impediments to science blooming.

Keywords science and technology power, basic research, technology revolution, industrial revolution

张先恩 中科院生物物理所研究员。1993年在中科院武汉病毒所任研究员，研究方向为生命科学与分析化学的交叉前沿；2002年调任科技部基础研究司司长，从事国家基础研究宏观管理；2013年回归科研一线，在中科院生物物理所大分子国家重点实验室任研究员，从事生物传感和纳米生物学研究，兼任APEC首席科学顾问会议中国代表（2013, 2015, 2016）和国家重点基础研究计划专家顾问组副组长。1995年获得加拿大Alberta大学荣誉科学博士学位。E-mail: zhangxe@ibp.ac.cn

Zhang Xian-En Has been actively involved in interdisciplinary area of science, and is specialized in biosensors, analytical microbiology and nanobiology. He became a full professor in 1993 at Wuhan Institute of Virology, Chinese Academy of Sciences (CAS). From 2002 to 2013, he served as Director General of the Basic Research Department, Ministry of Science & Technology (MOST), where he was engaged in the macro management of science development in China. In May 2013, Dr. Zhang completed his duty in MOST and jointed the Institute of Biophysics (BIP) as a PI professor and later a distinguished professor in CAS Center for Excellence in Biomacromolecules, BIP. Dr. Zhang has been successively acted as the vice president of the Chinese Society of Biophysics and the Chinese Society of Microbiology, as well as a member of the Advisory Board of the London Center for Nanotechnology, and now the Co-Chair of the Division of Nanobiotechnology, Biosensors, and Biochips, Asian Federation of Biotechnology (AFOB). In addition, he has been served as the representative of the APEC Meeting of Chief Science Advisors or Equivalents since 2013 (except for 2014). In 2015, he was awarded an Honorary Doctor of Science Degree by the University of Alberta, Canada. E-mail: zhangxe@ibp.ac.cn